
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Torres Serra, Oriol; Gaju Ricart, Núria, dir. Biofertilitzants, una solució al problema dels nitrats. 2020. 9 pag. (816 Grau en Microbiologia)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/240599>

under the terms of the  license

Biofertilitzants, una solució al problema dels nitrats

Treball de divulgació



Estudiant: Oriol Torres Serra

Grau: Microbiologia

Tutora: Núria Gaju Ricart

UAB Universitat Autònoma
de Barcelona

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ.....	2
1.1. <i>Breu introducció al tema</i>	2
1.1.1 El nitrogen en els camps agrícoles	2
1.1.2 Pèrdues de nitrogen; causes i conseqüències	2
1.2. <i>Biofertilitzants</i>	3
1. IMPORTÀNCIA	5
2. DIVULGACIÓ	6
3.1. <i>Àmbit d'aplicació.....</i>	6
3.2. <i>Objectiu general</i>	6
3.3. <i>Objectius específics de la divulgació.....</i>	7
3.4 <i>Material divulgatiu.....</i>	7
3.5 <i>Realització</i>	8
3. DISCUSSIÓ	8
5. BIBLIOGRAFIA	10

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Breu introducció al tema

1.1.1 El nitrogen en els camps agrícoles

El nitrogen és un dels nutrients bàsics per a les plantes; i en conseqüència un element bàsic a l'agricultura. Per tant una falta de nitrogen suposa una disminució del creixement de la planta i del rendiment del cultiu.^{1,2}

El contingut de nitrogen del sòl, d'on és extret per les plantes, està regulat per un cicle molt complex a on estan involucrats el sòl, l'atmosfera, microorganismes, plantes i altres organismes. Cada reacció i organisme és de vital importància per tenir el cicle en equilibri.¹

En els conreus, el cicle és el mateix que en els ambients naturals, però amb una excepció: cada collita anual es retira tota la massa vegetal del camp, i amb ella grans quantitats de nitrogen.³

Per tant al llarg del temps el contingut de nitrogen, i altres nutrients del sòl s'ha anat reduint. Així doncs, des de sempre, l'agricultura s'ha vist obligada a suplementar amb adobs els camps agrícoles per treure el màxim profit de la collita.^{4,5} Ja des del neolític es van començar a aplicar fertilitzants orgànics (dejeccions ramaderes)⁶, tanmateix no va ser fins a mitjats del segle XX que es van començar a aplicar de forma massiva els fertilitzants químics.^{7,8} A partir d'aquest moment la quantitat de fertilitzants ha anat augmentant any rere any fins que, actualment, els fertilitzants químics representen la major entrada de nitrogen al sòl.⁹

Avui en dia, distingim dos grans grups de fertilitzants que s'utilitzen; els orgànics i els químics. Els primers es basen en restes vegetals i dejeccions animals. En aquest grup trobem els purins; dejeccions líquides de la ramaderia, els quals són majoritaris en zones a on la ramaderia també hi té molt impacte. Per altra banda els químics són productes de síntesis industrial a on trobem els nutrients en altres concentracions i en forma pura.¹⁰

1.1.2 Pèrdues de nitrogen; causes i conseqüències

En fertilitzar el sol estem afegint grans quantitats de nitrogen; si aquest supera la capacitat d'assimilació dels organismes i de retenció del sòl, l'excés es perdrà; per volatilització i lixiviació.^{9,11}

La més important és la lixiviació de nitrats; la qual representa un 50% de les pèrdues de nitrogen del sòl.⁹ A diferència de l'amoni, el nitrat té una càrrega negativa, per tant no es queda retengut en el sòl i es dissol en l'aigua que percolarà a capes més profundes fins als aqüífers.

Dels fertilitzants aplicats; entre un 60 i 90% es perd, i només el restant és assimilat per les plantes.¹² Si hi posem números, a Europa, cada any es perden 12.965 Gg de nitrogen; 6365 per lixiviació.⁹

Aquests nitrats lixiviats arriben a aigües subterrànies que podran desembocar a rius i seguir el cicle de l'aigua o bé destinar-se al consum humà, ramader o per rec.

Si les quantitats de nitrats són altes es poden produir greus problemes ecològics i en el cas del consum greus problemes de salut.

Pel que fa a problemes ambientals, un excés de nitrats en aigua produeix alts nivells d'eutrofització que deriven en destrucció d'ecosistemes i problemes de toxicitat; molt usual la hipòxia del sistema.^{13,14}

Quant a problemes de salut, es donen quan es consumeix aigua amb alts nivells de nitrats, que en l'organisme produeixen efectes indesitjables per la salut. Un dels principals efectes és la conversió de l'hemoglobina en metahemoglobina, que no pot lligar l'oxigen al grup hemo. Es creu que també està relacionat amb alguns càncers, diabetis i problemes en la reproducció.^{15,16}

En resum l'excés de nitrats en els camps agrícoles deriva a greus problemes ambientals i sanitaris.

1.2. Biofertilitzants

Una planta creixent en el medi natural no és un sol individu, sinó una comunitat formada per la mateixa planta i un complex i organitzat conjunt de microorganismes coneguts com la fitomicrobiota¹⁷. S'estableixen una multitud de relacions beneficioses entre la planta i els microorganismes que permeten el correcte desenvolupament del vegetal. Els podem trobar a la superfície foliar, a les estructures de reproducció, als fruits i llavors i, els més importants, a la rizosfera interaccionant amb les arrels.¹⁸

Per tant, definim com a biofertilitzants aquells productes utilitzats per augmentar la producció del cultiu on el component actiu principal són microorganismes de la rizosfera, bacteris (PGPR) o micorrizes, fongs simbiotes.

Aporten molts beneficis a les plantes com:

- Síntesis de fitohormones¹⁹
- Solubilització de compostos de sòl com el fòsfor²⁰
- Augment de l'eficiència de captació d'aigua i nutrients^{17,21}
- Síntesis de sideròfors que ajuden a la captació de metalls com el ferro²²
- Protecció enfront de malalties^{23,21}
- Estimulació del creixement en situació d'estrès hídric²⁴ i salí²⁵
- Millora de l'estructura del sòl^{26,27}
- Fixació de nitrogen atmosfèric en el cas de bacteris fixadors simbiotes o de vida lliure.²⁸

Per tant, els biofertilitzants ens aporten molts beneficis que ajudaran a un millor desenvolupament de la planta. Aquests permeten que la quantitat de fertilitzants abocats al cultiu es pugui reduir a més del 50% mantenint la producció o bé augmentant-la¹², fins a un 30% o 50% tal com demostren alguns estudis.^{29,22}

Per aconseguir el màxim rendiment del cultiu és adient combinar els biofertilitzants amb dosis sostenibles de fertilitzant, sobretot orgànics, per tal que hi hagi una entrada de nutrients.³⁰ No obstant això, es redueix dràsticament la quantitat de fertilitzants a aplicar; evitant problemes de lixiviació. També reduïm volatilització i acumulació de compostos tòxics presents als fertilitzants químics.³¹

Nogensmenys, en ocasions es pot donar la situació que la seva aplicació no ofereix beneficis. Això succeeix quan s'han aplicat conjuntament amb altes dosis de fertilitzants o diferents biofertilitzants combinats.³¹

La duració dels biofertilitzants al sòl és variable, des de mesos a anys, per tant la periodicitat d'aplicació és molt variable depenent del producte.^{17,31,32}

L'època i el mètode d'aplicació dels diferents biofertilitzants depèn en part del *carrier*, específic del producte. Aquest és la matriu a on es troben els microorganismes i té una funció de vehicle, augmenten la viabilitat del microorganisme durant l'emmagatzematge i la colonització del sòl.³³

En l'àmbit comercial aquí a Espanya es comercialitzen 22 productes biofertilitzants³⁴. El gènere predominant de PGPR és *Bacillus spp.*³⁴ A part de la seva versatilitat metabòlica i dels beneficis que ofereix al cultiu, aquest gram positiu té la característica de formar espores de resistència que li permet sobreviure fora del seu ambient llargs períodes de temps.²² També, però en menor mesura, trobem productes que contenen espècies de *Pseudomonas spp*, *Bradyrhizobium spp* o *Azospirillum spp*.³⁴

En relació a les micorrizes; les comercialitzades són bàsicament representants del fílum Glomeromicots³⁴, els quals formen endomicorrizes arbusculars. La peculiaritat d'aquest grup és la poca especificitat i que poden establir relacions amb la majoria de plantes de cultius, a excepció de les brassicàcies.^{35,36}

L'especificitat del producte depèn de la presència i combinació de certes espècies de bacteris i fongs.

En conclusió, els biofertilitzants són productes que tenen un bon resultat, que la seva presència al mercat va augmentant³⁷ i lentament estan sent acceptats per la comunitat agrícola.

2. IMPORTÀNCIA

Abans de plantejar la divulgació hem de ser coneixedors de si aquí, al nostre territori, la problemàtica dels nitrats és quelcom real.

A Catalunya, l'agricultura és un sector clau per l'economia de la regió, qui compte amb 57.543 explotacions³⁸. Aquest gran sector ocupa una superfície de 833.512 hectàrees de terra; un 26% de la superfície del territori³⁹. Per tant, la manera en què es gestiona aquesta gran superfície té un gran impacte en l'ecosistema, l'economia i la població.

Estudis realitzats han observat que a un 70% dels municipis de Catalunya, tots de zones agràries, presenten una quantitat de nitrogen excedent als camps, nitrogen que supera la capacitat d'assimilació del sòl i del cultiu i es perd per lixiviació, d'entre 50 i 100 tones per municipi.⁴⁰ Aquestes quantitats són derivades d'un excés de la fertilització dels camps. En conseqüència un 34% de la superfície del territori, 422 municipis (*Figura 1*), un 44,5%, han estat declarats zones vulnerables pel fet de tenir la majoria dels sistemes aquàtics subterranis amb excés de nitrats, més de 50mg/l. ⁴⁰

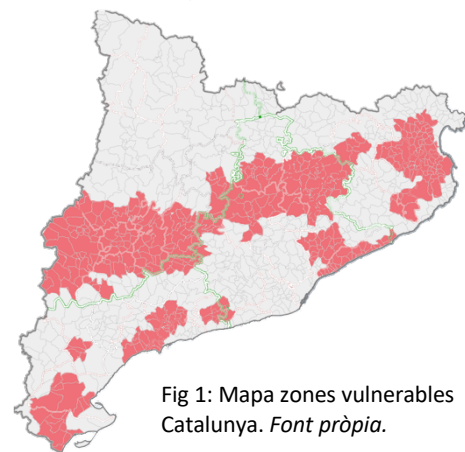


Fig 1: Mapa zones vulnerables Catalunya. Font pròpia.

Una de les raons per la qual s'evoquin tantes quantitats de nitrogen als camps te a veure amb el sector germà de l'agricultura; la ramaderia. A Catalunya es generen 91.156 tones de nitrogen d'origen animal, en forma sòlida i líquida; un 70% més que el nitrogen d'origen antropològic. ⁴⁰ De purins, la principal font de fertilització en els camps agrícoles, se'n generen 11,4 milions de metres cúbics de purins a l'any. ⁴¹ Si aquest gruix de residus no es tracta i s'evoca de forma no controlada en els conreus; és quan es generen grans quantitats de nitrogen excedents incrementant la problemàtica. També cal remarcar la utilització massiva de fertilitzants químics, qui va en augment any rere any. ⁴²

En conclusió, l'impacte en el nostre entorn és rellevant; afecta una gran superfície del territori i és degut a la gran quantitat de nitrogen que es produeix i la manera com es gestiona. Per tant, sorgeix la urgència de començar a revertir la forma de fertilització per tal de mitigar el problema.

3. DIVULGACIÓ

3.1. Àmbit d'aplicació

Si l'objectiu és revertir la problemàtica dels nitrats derivats de l'aplicació de fertilitzants en camps de conreu, a qui primer s'ha d'arribar és als responsables de tal aplicació; els agricultors.

La comunitat agrària es caracteritza per la tradició familiar; a on els coneixements de l'ofici es transmeten molts cops de generació a generació. Així doncs, una gran majoria d'ells justifiquen les accions amb "això sempre s'ha fet així i funciona", per tant és tot un repte aconseguir la innovació. També és una professió sacrificada a on s'hi ha de dedicar el complert dels dies de l'any.

Per tant estem davant d'un públic conservador, sacrificat i més aviat refractari al canvi per a la por d'una baixada de la producció.

Es podria plantejar una divulgació al conjunt general de la societat; ja que és un problema a on tots ens veiem afectats. No obstant aquesta opció es descarta per una raó important.

El gran gruix de la societat té el món agrari en poca consideració i n'és una gran desconexada. Tal fet es pot observar quan els productes de proximitat no són els preferibles pels consumidors o quan es menysprea la feina dels agricultors. Així doncs, plantejar aquesta campanya per la població en general pot crear un sentiment de culpabilització cap al món agrari, quan el que hauríem d'assolir és una valorització.

3.2. Objectiu general

L'objectiu de la divulgació és sensibilitzar a la comunitat agrària sobre la problemàtica dels nitrats per tal d'aconseguir una reducció de l'ús de fertilitzants. Per altra banda, i com a alternativa, plantejar l'aplicació de biofertilitzants per augmentar el rendiment i producció del cultiu de forma sostenible.

Per mitigar aquest problema seria essencial tractar la gestió dels fertilitzants, sobretot purins, i parlar de forma i època d'aplicació, tractament previs a l'aplicació i quantitats, entre altres. Tanmateix, es creu oportú deixar de banda aquest tema i centrar-se en els biofertilitzants. La raó és que des de les administracions, com el Departament d'Agricultura a través del RuralCat ⁴³⁻⁶⁶ o associacions agrícoles com la Unió de Pagesos⁶⁷, ja s'han fet moltes campanyes per aconseguir una bona gestió de la fertilització en els camps agrícoles.

Així doncs, s'encara aquest treball de divulgació a l'alternativa dels biofertilitzants en els camps agrícoles per continuar disminuint l'aplicació massiva de fertilitzants químics i orgànics, causa principal de la lixiviació de nitrats a les aigües subterrànies.

3.3. Objectius específics de la divulgació

En el moment de plantejar objectius, primer s'ha de fer un estudi de les necessitats. Després de cada necessitat en deriva un o més objectius.

NECESSITATS	OBJECTIUS
Que els agricultors siguin conscients de les problemàtiques derivades de l'agricultura	Transmetre de forma clara i entenedora les causes i les conseqüències de la problemàtica de lixiviació de nitrats a aigües subterrànies. A través de dades reals, crear un impacte al receptor.
Que siguin conscients que poden canviar la forma de fer i així mitigar el problema	No ser catastrofistes i transmetre que hi ha alternatives.
Que sàpiguen que hi ha alternatives com són els biofertilitzants	Explicar de forma amena que són els biofertilitzants. Presentar els avantatges que aporten aquests productes.
Que la informació arribi a través d'un material divulgatiu fàcil d'obtenir i que estigui de forma clara, entenedora i amena	Recollir la informació a transmetre en un tríptic imprès i digital. Exposar els tríptics a les cooperatives agràries locals o comarcals.

Taula 1: Necessitats i objectius específics. *Font pròpia.*

3.4 Material divulgatiu

El material divulgatiu serà en forma de tríptic, follets informatius que busquen transmetre la informació de forma concisa. L'elecció d'aquest material consta de diverses raons:

- Material visual, per tant cridarà l'atenció del públic receptor.
- Material petit i curt a on no es destina molt de temps a llegir-ho.
- Permet transmetre la informació de forma clara i entenedora.
- Material que es pot deixar a diferents punts, com les cooperatives.
- El format en paper evita que s'hagin d'utilitzar pantalles per rebre la informació.
- Material que també es pot enviar de forma digital i fer que arribi a més persones.

El contingut del tríptic consta d'una explicació de la problemàtica, exposa les zones del territori més afectades i planteja l'ús de biofertilitzants com a alternativa. Per acabar conté una cara amb altres temes d'interès.

Per l'elaboració del material s'han utilitzat programes de presentació⁶⁸, il·lustració⁶⁹ i edició d'imatge.⁷⁰ Totes les il·lustracions són de creació i edició pròpia.

La bibliografia consultada per fer el material divulgatiu és la mateixa per la realització d'aquesta memòria.

3.5 Realització

La divulgació plantejada consta en repartir els tríptics a les cooperatives comarcals i locals perquè ho posessin a disposició dels agricultors. D'aquesta manera en algun moment la majoria d'agricultors passarien per allà i el podrien agafar per informar-se. També hi hauria una versió digital per tal de fer difusió a través de les xarxes.

Tanmateix, a causa de la situació de la pandèmia, només s'ha pogut fer la divulgació telemàtica. A través de contactes personals es va fer arribar el tríptic als agricultors de la comarca del Moianès. Conjuntament amb la infografia hi havia una petita enquesta que es demanava que es contestés, i així comprovar la validesa de la divulgació. Es van obtenir 15 respostes, les quals es detallen durant la discussió.

A més a més, també es va enviar el tríptic al RuralCat (Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació) per posar-lo a la seva disposició. S'ha obtingut una resposta positiva i han rebut el tríptic de bon grat.

4. DISCUSSIÓ

El primer que es pot extreure després de la realització d'aquest treball és la preocupació per l'important impacte dels nitrats en el nostre entorn, i en conseqüència la urgència d'actuar.

Nogensmenys, tot i que la causa principal és la gestió feta pels agricultors, no s'hauria de culpabilitzar. El sector agrícola ha estat sempre un sector ignorat i desvalorat el qual se li ha ofert escassos recursos i formació. Per tant, és important començar a sensibilitzar-los per tal que prenguin consciència de les conseqüències de les seves accions.

Canviar la manera de fer que s'ha fet sempre, com és la fertilització dels camps, és quelcom que no es pot canviar d'un dia per l'altre; és necessari un treball constant i profund al llarg d'un temps. Així que, d'aquest treball, no s'espera que els agricultors deixin de banda els fertilitzants tradicionals i es bolquin als biofertilizants. Tanmateix, aquesta campanya de divulgació busca sensibilitzar-los i fer-los coneixedors del problema, causes, conseqüències i possibles solucions, de tal manera que avancem un petit pas cap a una agricultura més sostenible.

Així, si de cara el futur es realitzessin altres campanyes de divulgació, ja tindrien nocions del tema i seria més fàcil seguir avançant cap al canvi.

Per tant, com a perspectiva de futur, s'hauria de seguir divulgant sobre aquest tema. Si els agricultors mostressin interès, es podria organitzar una jornada a on la divulgació es

fes directe a través d'una xerrada. A més a més, utilitzar un format més ampli permetria aprofundir en el tema i introduir-ne de nous; com el tractament de purins en digestors anaeròbics. Durant aquest treball es planteja la reducció de l'aplicació dels purins al conreu i una pregunta que sorgeix del pagès és "I llavors que faig amb els purins?". Per tant es creu adequat que els agricultors coneguin la digestió anaeròbica pel tractament de les dejeccions.

Finalment, com a punt fort d'aquest treball, cal destacar que és dels pocs treballs de divulgació, els quals hi ha registre, que s'han fet a escala territorial sobre els biofertilitzants; per tant estem davant d'una divulgació innovadora.

A més a més les enquestes ens han donat dades de la validesa d'aquesta divulgació.

Un 92% considera que el material divulgatiu és adequat. Les respostes també ens indiquen que és un tema poc treballat en la comunitat agrària, ja que només 34% coneixia la problemàtica i un 25% els biofertilitzants; la resta simplement li sonava o no n'era coneixedor. Finalment un 83% considera que està més sensibilitzats després de la divulgació.

En conclusió és una campanya de divulgació innovadora pels temes tractats, adequada i aconsegueix sensibilitzar al públic fent-lo coneixedor d'una emergència ambiental que està vivint el nostre territori.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Galloway, J. N. *et al.* Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science* vol. **320** 889–892 (2008).
2. Masclaux-Daubresse, C. *et al.* Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: Challenges for sustainable and productive agriculture. *Ann. Bot.* **105**, 1141–1157 (2010).
3. Sassenrath, G. F., Schneider, J. M., Gaj, R., Grzebisz, W. & Halloran, J. M. Nitrogen balance as an indicator of environmental impact: Toward sustainable agricultural production. *Renew. Agric. Food Syst.* **28**, 276–289 (2013).
4. Erisman, J. W. *et al.* Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **368**, 1–9 (2013).
5. Cao, P., Lu, C. & Yu, Z. Historical nitrogen fertilizer use in agricultural ecosystems of the contiguous United States during 1850–2015: Application rate, timing, and fertilizer types. *Earth Syst. Sci. Data* **10**, 969–984 (2018).
6. Bogaard, A. *et al.* Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **110**, 12589–12594 (2013).
7. Russel, D. A. & Williams, G. G. History of Chemical Fertilizer Development. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **41**, 260–265 (1977).
8. Philpott, T. A brief history of our deadly addiction to nitrogen fertilizer. *Mother Jones* **10**, 19–21 (2013).
9. Misselbrook, T. *et al.* Field application of organic and inorganic fertilizers and manure. *Task Force Reactive Nitrogen Guidance document*, 1–25 (2019).
10. Peñuelas, J., Sardans, J., Rivas-ubach, A. & Janssens, I. A. The human-induced imbalance between C, N and P in Earth's life system. *Glob. Chang. Biol.* **18**, 3–6 (2012).
11. Baram, S. *et al.* Estimating Nitrate Leaching to Groundwater from Orchards: Comparing Crop Nitrogen Excess, Deep Vadose Zone Data-Driven Estimates, and HYDRUS Modeling. *Vadose Zo. J.* **15**, 1–13 (2016).
12. Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K. & Tuteja, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories* vol. **13** 1–10 (2014).
13. Goldberg, V. M. Groundwater pollution by nitrates from livestock wastes. *Environ. Health Perspect.* **83**, 25–29 (1989).
14. Mas-Pla, J. & Menció, A. Groundwater nitrate pollution and climate change: learnings from a water balance-based analysis of several aquifers in a western Mediterranean region (Catalonia). *Environ. Sci. Pollut. Res.* **26**, 2184–2202 (2019).
15. Van Breda, S. G. *et al.* Impact of high drinking water nitrate levels on the endogenous formation of apparent N-nitroso compounds in combination with meat intake in healthy volunteers. *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source* **18**, 1–12 (2019).
16. Ward, M. H. *et al.* Workgroup report: Drinking-water nitrate and health - Recent findings and research needs. *Environ. Health Perspect.* **113**, 1607–1614 (2005).
17. Backer, R. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of

- action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Front. Plant Sci.* **871**, 1–17 (2018).
18. Smith, D. L., Gravel, V. & Yergeau, E. Signaling in the phytomicrobiome. *Front. Plant Sci.* **8**, 8–10 (2017).
 19. Kudoyarova, G. *et al.* Phytohormone Mediation of Interactions Between Plants and Non-Symbiotic Growth Promoting Bacteria Under Edaphic Stresses. *Front. Plant Sci.* **10**, 1–11 (2019).
 20. Alori, E. T., Glick, B. R. & Babalola, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Front. Microbiol.* **8**, 1–8 (2017).
 21. French, K. E. Engineering mycorrhizal symbioses to alter plant metabolism and improve crop health. *Front. Microbiol.* **8**, 1–8 (2017).
 22. Radhakrishnan, R., Hashem, A. & Abd Allah, E. F. *Bacillus*: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Front. Physiol.* **8**, 1–14 (2017).
 23. Beneduzi, A., Ambrosini, A. & Passaglia, L. M. P. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genet. Mol. Biol.* **35**, 1044–1051 (2012).
 24. Heidari, M. & Golpayegani, A. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* **11**, 57–61 (2012).
 25. Ilangumaran, G. & Smith, D. L. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: A systems biology perspective. *Front. Plant Sci.* **8**, 1–14 (2017).
 26. Zheng, W. *et al.* Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Reduce Evaporation and Increase Soil Water Retention. *Water Resour. Res.* **54**, 3673–3687 (2018).
 27. Rillig, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* **84**, 355–363 (2004).
 28. Rilling, J. I., Acuña, J. J., Sadowsky, M. J. & Jorquera, M. A. Putative nitrogen-fixing bacteria associated with the rhizosphere and root endosphere of wheat plants grown in an andisol from southern Chile. *Front. Microbiol.* **9**, 1–13 (2018).
 29. Sahoo, R. K. *et al.* Phenotypic and molecular characterization of native *Azospirillum* strains from rice fields to improve crop productivity. *Protoplasma* **251**, 943–953 (2014).
 30. Suliasih & Widawati, S. The Effect of Biofertilizer Combined with Organic or Inorganic Fertilizer on Growth of *Caesalpinia pulcherrima* and Bacterial Population in Soil. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **166**, 1–7 (2018).
 31. Carvajal-Muñoz, J. S. & Carmona-Garcia, C. E. Benefits and limitations of biofertilization in agricultural practices. *Livestock Research for Rural Development* 1–9 (2012).
 32. Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S. & Nasrulhaq Boyce, A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability-A review. *Molecules* **21**, 1–17 (2016).
 33. Yardin, M. R., Kennedy, I. R. & Thies, J. E. Development of high quality carrier materials for field delivery of key microorganisms used as bio-fertilisers and bio-pesticides. *Radiat. Phys. Chem.* **57**, 565–568 (2000).

34. Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Ramaderia, P. y A. Consulta de productos fertilizantes inscritos.
<https://www.mapa.gob.es/app/consultaFertilizante/consultaFertilizante.aspx> (2020).
35. Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R. & Bianciotto, V. Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. *Front. Microbiol.* **6**, 1–13 (2016).
36. Rillig, M. C. *et al.* Towards an integrated mycorrhizal technology: Harnessing mycorrhiza for sustainable intensification in agriculture. *Front. Plant Sci.* **7**, 1–5 (2016).
37. 2025, G. F. to. Biofertilizers Market by Form (Liquid, Carrier-Based), Mode of Application (Soil Treatment, Seed Treatment), Crop Type, Type (Nitrogen-Fixing, Phosphate Solubilizing & Mobilizing, Potash Solubilizing & Mobilizing), Region - Global Forecast to 2025. *Mark. Res. Rep.* 1–9 (2020).
38. Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT). Explotacion agràries.
<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=anuals&n=10485&tema=agrar> (2018).
39. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Superfícies i produccions dels conreus agrícoles. any 2018 nota. 1–4 (2019).
40. Agència Catalana de l'Aigua (ACA). Avaluació problemàtica nitrats DCQA 03 2016pdf. *Infomre Tècnic* **1**, 1–8 (2016).
41. Pous, P., Agrari, F., Sòls, S. De, De, M. & Agrària, P. El paper que juga la separació sòlid-líquid en la gestió dels purins. *RuralCat* **1**, 10–14 (2016).
42. United, F. and A. O. of the. World fertilizer trends and outlook to 2020. *Food Agric. Organ. United Nations* **1**, 38 (2017).
43. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Bones pràctiques agràries (i). *RuralCat* **06**, 1–24 (2005).
44. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. F I T X A 0 9 Novembre 2013 Tractaments tractaments de les dejeccions ramaderes : digestió anaeròbia (Plantes de biogàs). *RuralCat* 2020 (2020).
45. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. F I T X A 1 2 Febrer 2014 Tractaments tractaments de les dejeccions ramaderes : nitrificació - desnitrificació (ndn). *RuralCat* **12**, 1 (2014).
46. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Apilament temporal de fertilitzants orgànics a l' explotació agrícola. *RuralCat* **40**, 1–2 (2019).
47. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Assessorament nitrats a la base de la tija : una eina per avaluar el maneig del nitrogen en blat de moro. *RuralCat* **37**, 1–2 (2019).
48. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Assessorament en fertilització. *RuralCat* **33**, 1–2 (2019).
49. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Declaració anual nitrogen a l'aigua de reg. *RuralCat* **31**, 1–2 (2019).
50. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Nitrogen dels adobs subjectes a la normativa de fertilitzants. *RuralCat* **30**, 1–2 (2019).

51. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Distàncies a respectar en l' aplicació agrícola de fertilitzants nitrogenats , segons el tipus d' adob. *RuralCat* **28**, 1–4 (2019).
52. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Incorporació dels fertilitzants nitrogenats dins del sòl maquinària i equips Incorporació dels fertilitzants nitrogenats dins del sòl. *RuralCat* **27**, 1–2 (2019).
53. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Quantitats màximes de nitrogen aplicables en zones vulnerables Quantitats màximes de nitrogen aplicables en zones vulnerables. *RuralCat* **24**, 1–4 (2020).
54. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Períodes d' aplicació de fertilitzants nitrogenats en Zones Vulnerables. *Ruralcat* **23**, 1–2 (2019).
55. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Fertilització nitrogenada de cultius hortícoles. *RuralCat* **01**, 1–4 (2012).
56. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Períodes d'aplicació de fertilitzants nitrogenats en Zones Vulnerables. *Ruralcat* **22**, 1–2 (2019).
57. Ortiz-Gama, C., Parera-Pous, J. Fertilització i dejeccions ramaderes. Eines per a una bona aplicació de purins. *RuralCat* **79**, 22–28 (2015).
58. Magrí, A., Palatsi, J. & Flotats, X. Bones Pràctiques Agràries (II). *Ruralcat* **14**, 1–24 (2006).
59. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Nitrogen en les dejeccions ramaderes. *Ruralcat* **17**, 1–4 (2019).
60. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Tractaments Principals Sistemes De Gestió I Tractament De Les Dejeccions Ramaderes (Taula Resum). *RuralCat* 1–6 (2013).
61. Canut, N; Ortiz, C; Murillo, G; Puigpinós, E; Tugues, J; Parera, J. Protocol per al mostreig de dejeccions ramaderes. Fitxa tècnica nº 5. *RuralCat* 1–5 (2013).
62. Puigpinós, E. *et al.* Maneig de les restes de la collita de panís. *RuralCat* **11**, 1–4 (2013).
63. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Mostreig Anàlisi De Sòl : Guia Bàsica Per Al Seu Mostreig. *RuralCat* 1–5 (2014).
64. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Característiques I Comportament Del Fem De Conill Com a Fertilitzant. *RuralCat* **14**, 1–3 (2015).
65. D Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Fertilització L' Aplicació De Purí Porcí a L' Alfals. *RuralCat* **15**, 1–4 (2015).
66. Generalitat de Catalunya: Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació Dossier 85; Cereal, E N. *RuralCat* **85**, 1–32 (2016).
67. Agroxxarxa. Resum del decret de fertilització... t'interessarà! <https://www.agroxxarxa.com/resum-decret-de-fertilitzacio-interessara/> (2020).
68. Microsoft® 365 para Mac Versión 16.36. (2020).

69. Aoki, Shiz. Shteyn, K. Marien, R. BioRender® 2020. (2020).
70. Kimball. S, Matis. P i l'equip de desenvolupament del GIMP®. GIMP 2.10.14. (2020).